引用格式：毛华斌, 吴园涛, 殷建平, 等. 海洋环境安全保障技术发展现状和展望. 中国科学院院刊, 2022, 37(7): 870-880.
Mao H B, Wu Y T, Yin J P, et al. Development status and prospect of marine environmental security technology. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(7): 870-880. (in Chinese)

海洋环境安全保障技术发展现状和展望

毛华斌[1,2] 吴园涛[3] 殷建平[1,2] 练树民[1,2*]

1 中国科学院南海海洋研究所 广州 510301
2 广东省·中国科学院应用海洋生物学重点实验室 广州 510301
3 中国科学院 重大科技任务局 北京 100864

摘要 海洋观测技术的不断进步为海洋环境安全提供了越来越多的技术手段。海洋环境安全保障技术在“一带一路”倡议中有着不可或缺的作用，不仅对海洋强国建设、国家海上安全维护有着极为关键的作用，还将对推动构建“海洋命运共同体”，落实海洋可持续发展目标发挥积极的作用。文章结合实际所面临的问题介绍了海洋环境安全保障技术的体系构成，即海洋环境参数感知技术、数据集成与分析技术、应用保障技术。继而对海洋环境安全保障技术发展现状进行了阐述，并指出今后重点发展以下“四个能力”：全时全域、多维一体的监测探测能力，高效安全、稳定可靠的信息传输能力，实时精准、客观定量的预报预测能力，精准运筹、高效便捷的辅助决策与支撑能力。

关键词 海洋环境，信息感知，应用保障

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20220509004

2019年，习近平总书记在青岛会见应邀出席中国人民解放军海军成立70周年多国海军活动的外方代表团团长时，提出“海洋命运共同体”重要理念①。习近平总书记深刻指出，“我们人类居住的这个蓝色星球，不是被海洋分割成了各个孤岛，而是被海洋连结成了命运共同体，各国人民安危与共。”“大家应该相互尊重、平等相待、增进互信，加强海上对话交流，深化海军务实合作，走互利共赢的海上安全之路，携手应对各类海上共同威胁和挑战，合力维护海洋和平安宁。”纵观历史，从葡萄牙、西班牙的海上

*通信作者
资助项目：国家重点研发计划项目（2021YFC2803104、2021YFC3101301）
修改稿收到日期：2022年6月12日

① 习近平集体会见出席海军成立70周年多国海军活动外方代表团团长. (2019-04-23)[2022-06-14]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-04/23/content_5385354.htm.

崛起，到英国的“日不落”帝国，再到现今的美国一超独大，海权的强大无不是国家强大的突出标志。当前，建设海洋强国业已成为中华民族伟大复兴中国梦的核心工作，是保障国家总体安全、促进经济发展、维护海洋权益和拓展战略空间的迫切需求，而建设强大的海防则是实现这一伟大目标的基石。日益活跃的海上经济活动、日益拓展的海洋利益、日益壮大的蓝水海军，无不对我国的海洋环境安全保障事业提出了更多、更高的要求。本文重点介绍了我国海洋环境安全保障技术发展现状，并对下一步工作提出了思考和展望。

1 海洋环境安全保障技术体系的构成

海洋环境安全保障技术主要实现对海洋环境信息的获取、反演、资料同化、预报，分析其分布特征及变化规律；根据海洋环境信息需求，实现海洋环境要素收集，形成态势分析结果，为海洋安全提供支撑保障。例如，潮汐对登陆的影响，海流海浪对航行安全的影响，水下温度、盐度分布及变化对水下通讯影响等。海洋环境安全保障技术体系包括 3 个独立而又密不可分的部分：海洋环境参数感知技术、数据集成与分析技术、应用保障技术。

（1）*海洋环境参数感知技术。*海洋环境参数包括：大气环境的气温、湿度、气压、降雨、云、雾、风场等，水体环境的温度、盐度、压力、海流、水色等，海底环境的地形、地貌等。海洋环境参数感知技术即对海洋环境参数的获取、传输、存储的技术，主要有卫星观测技术、科考船观测技术、岸基和潜/浮标观测技术、移动平台观测技术和海底观测网技术等。基于多学科交叉特性，海洋科学对观测手段和平台综合性提出很高的要求，需要发展低功耗、高精度、低漂移、多传感器为特征的新型海洋观测集成技术；突破大流量、全天候、全海深、安全可靠实时传输，水下实时通讯，传感器协同观测，能源补给等多方面关键技术[1]。

（2）*数据集成与分析技术。*海洋环境数据的多源性、多数据格式、多尺度及动态性，决定了必须进行数据集成，否则就无法进行有效地组织、管理和应用。理想的集成技术应该从需求概念模型入手，在不同的需求之间探讨集成的可能性。通过需求概念模型到数据模型的映射关系，最终实现从需求层到数据层的有效集成。从根本上实现多源数据的集成和服务问题，进而为应用保障解决集成数据的人工交互和可视化问题[2,3]。

（3）*应用保障技术。*应用保障技术是指紧密结合海洋环境信息需求，以海洋环境参数获取为依托，以计算机、通信、网络等技术为服务平台，针对海洋环境要素及态势，充分应用资源为海洋环境安全提供支持保障。海洋环境保障主要是面向海洋环境的综合应用，例如：实时环境信息网络与分析系统、综合环境评估系统等，以及面向不同场景的应用。

2 海洋环境安全保障能力发展现状

二战期间，海洋环境安全保障技术主要保障海上航行安全和登陆，保障的具体内容为流、浪、潮信息和大气的风、温、湿信息。保障产品为描述为主、定量为辅的状态，以图集、报告为主体。其知识传递基本上是专业人士到操作人员，以为相关计划的制定提供依据。例如，登陆的时机与区域，安全航行的路线，以及为飞行员提供印有海流图的手帕，以便他们在需要时能根据所知的表层海流游到最近的海岛达到救生的目的等。现代意义上的海洋环境安全保障体系源于冷战期间，随着装备水平的不断提升，需求的复杂化、精细化，海洋环境安全保障体系技术水平不断提升和完善。海洋环境与海上活动的安全保障有着非常密切的关系，它不但对设备系统的部署、作业计划的制定、人员配置等起到重要作用，而且是提高海上的实际掌控力的关键因素[4]。海洋环境安全保障技术

的应用层次已然成为了海上活动安全的关键所在。

20 世纪 80 年代开始，海洋环境保障技术得到极大发展。环境观测范围扩展到海洋上空、水面、水下、海底和沿岸；观测技术由调查船、潜浮标为主的海基观测和以卫星遥感、航空观测为基础的天基观测，发展到无人自主观测、海底观测网络等；数据传输发展为应用卫星通信、以太网络与光缆数据通信等手段。海洋环境安全保障技术发展使得多平台、立体化、区域性、常态化、自动化的观测网络体系得以构建，并提供实时观测信息和层次化信息产品，许多产品正进入业务化运行阶段[5]。

2.1 海洋环境感知技术

海洋环境感知技术根据方式不同，大体可分为利用卫星技术的遥感观测、多种手段结合的海洋观测、长时间序列高频的海底观测网观测。

（1）*海洋遥感*。海洋遥感作为重要的海洋环境感知技术之一，在海洋环境安全保障实践中具有独特的优势。海洋遥感，可进行大面积、同步海洋环境监测，并提供多种海洋环境要素。例如，海上大气水汽含量和降水率，海表面温度，海面风场，海浪的波高和方向分布，海水透明度，海冰的面积范围和类型，与海洋潮汐、洋流和行星波相关的海面高度变化，海底地形，海洋重力场，以及海洋中尺度涡、内波、锋面等多种海洋环境信息。应用于海洋环境保障的遥感卫星有海洋水色卫星、海洋动力环境卫星、海洋监测卫星等[6]。

（2）*海洋观测*。全球海洋观测网（ARGO）计划是 1998 年推出的一个通过剖面浮标阵构成的全球海洋观测试验项目，旨在快速、准确、大范围地收集全球海洋上层的海水温度、盐度剖面资料，以提高气候预报的精度。ARGO 是目前唯一能立体观测全球上层海洋的实时观测系统，大大提高了海洋实时观测与高精度海洋预报能力，并可研究全球气候变化、海洋多尺度动力过程等[7]。能够在水下自主潜行的水下航行器是目前海洋观测的热点。20 世纪 90 年代以来，水下滑翔机作为一种新型无动力无人海洋移动监测平台，具有在位续航能力强、航程距离远、噪声水平低、隐蔽性能好、经济性好、易操作等优点，已经广泛应用于各领域，其平台技术相对成熟[8]。

（3）*海底观测网*。随着科学技术的发展，海洋环境观测范围从海面延伸到海洋内部并能够进行长期序列测量，并向海底投放各种各样的科学探测仪器以搜集实时连续的海洋信息。源自冷战时期美国海军水声监视系统的海底观测网是人类建立的第三种海洋科学观测平台[9]，在现代传感器、水下机器人、海底光纤电缆、物联网、大数据等新型技术的推动下，海底观测网融合物理海洋、海洋化学、海洋地球物理、海洋生态等多学科，解决深海电力输送和实时传输海洋观测数据的技术难题，实现了从海底到海面全天候、长期、连续、综合、实时、原位观测。美国、日本、加拿大及欧洲各国近 20 年来纷纷投入巨资开展海底观测网络，较为典型有加拿大海底观测网（NEPTUNE）、美国海底观测网（MARS）、欧洲海底观测网（ESONET）和日本海底观测网（DONET）等[10]。我国在“十一五”“十二五”期间，陆续开展海底观测网试验节点关键技术的攻关并取得了成效，其中“南海海底观测实验示范网”在海南三亚海域建设完成。在“863”计划的支持下，2012 年启动的重大项目“海底观测网试验系统”联合国内 12 家优势涉海研究机构分别在我国南海和东海建设了区域性海底观测网试验系统。2017 年 5 月，中国国家海底科学观测网正式批复，将在我国东海和南海分别建立海底观测系统，建成后能够实现中国东海和南海从海底向海面的全天候、实时和高分辨率的多界面立体综合监测，同时借此为我国海上安全作出重要贡献。

2.2 数据集成与分析技术

（1）*数据集成技术*。海洋环境监测数据集成，即从布放在高空、海表、海底等不同环境的海洋观测

设备回收数据，并发送到具有分析处理能力的信息中心进行加工和处理，具有空间范围广、传输距离远、易受干扰、通信链路难以实时维护等特点；在安全防范上，海洋环境监测数据集成又对信息传输的保密性、稳定性和实时性有更高的要求。为了满足海洋活动的需求，提升海洋环境信息保障能力，对位于不同空间的海洋环境监测设备，应针对性地使用不同的信息传输手段，以达到全面覆盖、优势互补的目的。按传输信道的类型，主要传输手段可分为无线传输和有线传输，或特殊的“布放-回收”手段等。① 无线传输。不仅能满足远距离、全球尺度的通信需求，也为运动中的数据传输节点提供通信能力支撑，充分适应传输机动性。依托低轨卫星的无线通信保障技术是最具潜力的无线通信发展方向之一，低轨卫星通信与传统高轨道卫星相比时延低，与地面基站相比覆盖范围广，可覆盖千公里量级范围[11]。② 有线传输。以光纤或以太网为载体的有线传输技术具有带宽大、传输速度快、数据质量高等显著优势，但其基础设施建设成本高、易被破坏。因此，有线传输较适用于离岸距离近、安全性高、隐蔽性好的环境观测设备信息传输，为近岸长期固定观测站提供通信支撑。以此为目标，欧洲部分国家、美国、日本等海洋强国纷纷建立了海底观测网络，我国也正在进行相关建设，以“岸基站—海底光电缆—水下节点—观测设备”的结构进行布局[12]。③ “布放-回收”手段。在距离基地较远，卫星、遥感等观测或通信手段无法覆盖的地区，可以采用自动化海洋观测设备“布放-回收”的形式，直接回收自容式观测设备获得的环境数据。自主式水下潜器（AUV）、水下滑翔机等自容式海洋观测设备，可将观测数据存储于设备内部，观测结束设备回收后直接读取、录入数据。其获知相关环境数据，特别是用于探测地形等对数据时效性要求较低的信息时，在隐秘性、观测范围等方面都有巨大优势，数据信息价值高。

（2）数据分析技术。随着信息技术的快速发展，目前人类已进入大数据时代。在海洋领域，海洋大数据蕴含着难以估量的巨大价值，能够为气候、生态、灾害、军事等领域提供可靠的科学依据，为人类感知、预测物理世界提供前所未有的丰富信息。大数据与人工智能方法在一定程度上能够补充和辅助传统的数值预报技术，在传统海洋预报薄弱的环节中，对于某些预测预报的问题，经典数学模型和传统海洋理论不容易进行精确的描述，人工智能技术反倒可能成为研究的长项[13]。最近来在海洋气象、水文、生态等方向已经出现了一些基于海洋环境大数据分析预报探索尝试，在海洋内波预报、海表高度预报、台风路径预报、厄尔尼诺-南方涛动（ENSO）预报、有害藻华预警和叶绿素浓度预报等方面取得了研究成果[14-18]，展现了人工智能挖掘海洋大数据应用的可行性及应用前景。

2.3 应用保障技术

（1）海洋数值模式与预报保障技术。数据集成与分析技术是实现应用保障的前提基础，应用保障技术是数据集成与分析技术的成果表现，两者相辅相成。得益于计算技术的发展，数值模式成为了海洋研究与应用的主要工具。数值模式的发展，使得我们对海洋的认知从零散的区域表述发展到对全球三维网格化的认知。这种三维网格化的结果不但可以对当前和未来海洋环境进行分析和预报，还可结合历史资料重建高精度的时间序列，即在合理的动力、热力理论框架下对全球海洋环境变化规律进行合理的“复盘”和“重构”，得到长时间序列的“再分析”资料；从而对全球、区域的变化规律有更深刻而准确地认识，也“弥补了”观测不足导致的认知不足。从技术上说，这促进了从描述性海洋学到数值化海洋学的发展。全球观测网丰富的观测资料为建立新一代全球海洋和大气耦合模型的初始化条件、数据同化和动力一致性检验提供了一个前所未有的巨大数据库，涡分辨的全球海洋

预报系统已成为技术主体。海洋环境安全保障对数值预报依赖度高，海洋观测资料对海洋数值预报的初始化、验证及预报系统的改进至关重要，是业务化海洋数值预报的基础和前提。我国海洋环境预报与保障能力起步较晚，中国科学院、自然资源部所属研究院所，以及部分高校为主的研究力量在中国近海及其邻近大洋海洋数值模式、全球海洋数值模式方面进行了长期攻关，具代表性的有中国科学院大气物理研究所研制的涡分辨率的全球大洋环流模式（LICOM）和自然资源部第一海洋研究所建立的浪-潮-流耦合海洋环流模式等。

（2）美国海洋监测数据应用保障实践。如何将海洋监测数据应用于保障海洋环境安全建设是一个挑战，更是将生产力转化为掌控力的关键。美国海军海洋学（naval oceanography）是美国海军保持全球战力的前沿，在海洋环境安全信息获取和预报能力方面具有突出的技术领先优势，在海洋环境安全保障技术的应用方面最为成熟。美国海军气象海洋保障体系包括了作业保障和总体规划管理/科技研发两部分，研发部门提供的新产品、新技术，提高了数据收集方法和预报性能，并由产品中心提供有效信息。美国海军海洋学家致力于全球海洋气象预报能力的开发是其领先的海洋保障技术一大体现，其先后发展的海军分层海洋模式（NLOM）、全球海军海岸模式（NCOM）、全球大气模型—海军作战全球气象预报系统（NOGAPS）等能够直接应用于海洋环境安全保障[19]。美国大型专属门户网站每天向用户发布更新的海洋模式预报产品（图形和数据），美国海洋局的客户服务办公室集中管理特殊客户的需求，海洋局分析师直接与客户交流，以确保提供的信息是有用的、完整的，并及时交付。

（3）应用保障技术发展方向。海洋环境信息系统建设、海洋环境数值预报业务化系统建设和海洋环境保障系统建设需要重点突破海洋环境信息数据库系统、海洋学信息产品及分发显示系统、风—浪—流耦合数值模型及业务化系统、高分辨率海面风场预报业务化系统、三维斜压海流数值预报业务化系统、跃层数值预报及同化技术研究、水声环境仿真系统、海洋环境和战术海洋环境保障支撑系统、水下平台自主海洋环境保障系统。海洋环境信息研究将向空间化、可视化、产品化、网络化方向更快发展。海洋环境可视化技术研究，将实现海洋信息产品的图形化、立体化和动态显示。

3 海洋环境安全保障能力未来发展趋势

在海洋研究的重点转向中小尺度的同时，随着观测装备体系能力的提升，水下噪声逐年下降，以及主动探测的舰船回波强度大幅降低和人类活动增加导致的海洋环境背景噪声增加，水下声监测范围缩小，亦同步进入中小尺度的范围[20]。三维声场模型的快速发展改变了以往普遍使用以单点探测剖面观测值确定周边环境参数的各向同性的海洋环境参数假设，准确的水下三维目标定位需获取小范围、有高时效要求的环境参数三维分布与变化情况。水声通信技术、多基地系统技术体系需要全面考虑海气界面、水体和海底界面全剖面分布与变化情况，以确定表层声道和深海声道的位置。从而将保障的范围从传统的上层几百米扩展到全海深，这就对海洋环境安全保障技术提出了新的要求。在信息化大背景下，海洋强国建设对海洋环境保障能力和其技术体系能力的要求可以概括为以下4个方面。

3.1 全时全域、多维一体的监测探测能力

背景：已有的全球和区域监测体系基础主要是通过卫星监测系统建立的。然而针对中小尺度快速移行和高频变化的特点，卫星监测系统与水面、水体观测同步能力未达成全方位的同步，存在着卫星在移行中尺度涡、锋面等分析中的海面观测数据与水下三维分布不匹配的问题。通过建立空天地海一体化的监测体

系，发展高分动力卫星提升海面高度资料的时空分辨率，研制新型海流、盐度遥感卫星，丰富大面快速监测手段；以及通过优化观测和目标观测，选定关键区域、关键断面，构建在线传输的固定监测系统，同步获取水下三维环境参数，已成为目前海洋监测能力提升的迫切需求。

要求：① 在技术的发展中，应考虑以下 3 个方面：发展低成本、长时间在线的漂流观测系统，如表层海汽通量观测浮标、剖面漂流浮标、温差能剖面浮标等新型观测设备；通过组建长时间在线的机动组网监测系统，进一步提升水下滑翔机为代表的水下自主无人潜器的性能，提升其快速性和持久性；继续推进我国海底观测网建设，实现海洋环境的全天候、实时、高分辨率和原位监测，并多途径保障观测网络的可持续发展，实现我国海底观测网的长期、可靠、业务化运行。② 在综合应用技术体系中，应建立观测设备与平台的“能力谱系”（图 1），确定设备与平台的最优适用范围和使用方式，结合最优观测理论和目标观测理念，实现成本可控、绩效最优的观测与监测网建设。

3.2 高效安全、稳定可靠的信息传输能力

背景：海洋环境安全保障产品是高度信息化的产品，这就决定了除自身体系的信息流转与迭代外，也将参与整个过程信息流转与迭代。从技术发展的角度看，环境信息的传输与分发是整个海洋环境安全保障体系中发展最晚的，尤其是具远离大陆的离岸全球/区域观测监测体系的信息传输直到铱星的出现才得以实现。而分析产品向水下装备的传输迄今为止依然是一个瓶颈问题。与指令、目标搜索定位信息等直接相关的信息相比，海洋环境信息的优先度相对靠后，一则是理论与环境信息

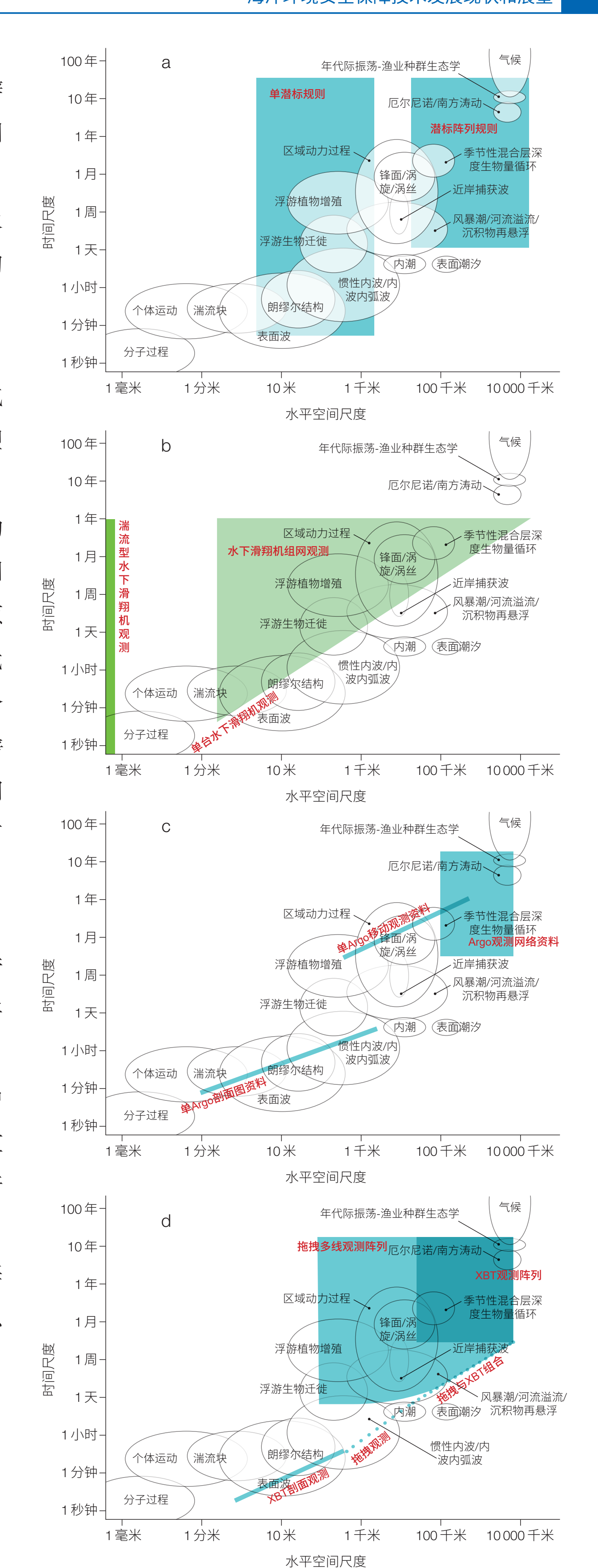


图 1 不同观测方式的时空能力谱

Figure 1 Time–space diagram of ocean and earth processes and sampling capabilities

（a）潜标观测方式；（b）水下滑翔机观测方式；（c）Argo 浮标观测方式；（d）拖曳观测与投弃式温度测量探头（XBT）观测方式

(a) Buoy; (b) Glider; (c) Argo; (d) XBT network and underway lines

的结合尚不完善，二则是三维环境信息传输量巨大，对带宽和时间的占用会影响优先信息的传输，尤其是强干扰的情况下。

要求：① 重视自主通信卫星的发展和低轨星链技术发展带来的条件改善，加紧研发相关的设备并对现有设备进行加改装，用以改进、提升现有和今后研发的设备，提升自身技术体系中的信息传输速度。② 快数据提取、压缩技术研发，实现精细化海洋环境保障产品的可传输性从而真正发挥保障的作用。信息传输是海洋环境监测活动与环境数据分析预报工作的桥梁，可靠的信息传输能力直接决定了海洋环境安全保障技术的实现。

3.3 实时精准、客观定量的预报预测能力

背景：目前，全球海洋预报系统海洋模式水平分辨率已达到 1/32°，预报时效通常为1周，部分预报系统能够对海洋锋和海洋涡旋等海洋天气现象进行预报诊断[21]。未来，海洋预报系统的预报精度和分辨率将进一步提高。海洋预报预测能力的发展依赖于海洋科学基础理论、海洋立体观测、海洋数据资料同化、数值模拟分析和高性能计算机等技术地提升。高精度、高分辨率海洋观测模式需要大量的海洋观测资料、精准的大气驱动场、可靠的海洋物理过程参数化方案、先进的海洋数据同化技术和高性能并行计算技术等。高分辨率海洋观测模式能够对海洋锋、海洋涡旋、海洋沿岸流等海洋过程进行模拟预报。

要求：① 优化资源配置，构建高时效的全球-区域-近岸/岛屿模式三级分析系统，全球分析预报系统应以地球模拟器为基础，强化南北极的分析预测能力。② 构建关键区域的分析预报模式系统，实现在地球模拟器支撑下的区域高分辨快速分析能力；快速构建精准的近岸/岛屿模式网格，实现可伴随使命任务的关键小区精准分析与预报能力。③ 大力发展分布式计算和智能计算能力，满足编队、单船在受限条件下依托自身探测能力与分析能力实现对环境感知和分析的自主保障能力。从而实现在受限条件下现场快速、准确、自主保障需求。

3.4 精准运筹、高效便捷的辅助决策与支撑能力

背景：不同空间、不同时间维度上的海洋环境各不相同，复杂多变的海洋环境影响着装备的性能。例如，海洋的温、盐、深等参数变化影响水下活动与声呐探测；磁场变化影响导航与无线电通信；应对未知且复杂多变的海洋环境，类型多样化的海洋环境参数，瞬息万变的局势，需要具有精准运筹、高效便捷的辅助决策与支撑能力，才能最大程度发挥装备的作业能力。近年来我国加快海洋建设的步伐，建立了空、天、地、海、潜的海洋立体观测网和各类无人观测系统，为海洋环境安全保障提供了坚实基础。但受海洋环境信息的获取、传输、处理、共享、应用，以及海洋装备研制等方面的因素影响，与美国等发达国家还有一定的差距。

要求：① 实际过程中，从规划，到运用，再到具体的开展，以及复盘，应用保障技术应该是“全链条”的支撑。在辅助决策上，不同层次用户对保障技术需求有着不同的谱系，一线人员需求保障可能只在小时级或天，指挥则需要一周及一个月的趋势保障，高层则需要了解季节性变化甚至年际变化，因此应用保障应该具备“全谱系”的支撑。② 提供专业的、准确的海洋环境数据和查询显示系统即是海洋环境安全保障的最终形式，这是以往对海洋环境安全保障认识的误解。辅助决策和精准支撑真正核心内容是需要将精准的数据根据实际的需要开发出高效、易用、易传输的数据集和产品，这需要下大功夫调研应用端的需求，开发满足操控系统、技术装备、作业系统等不同需要的数字化、可视化的信息产品，从而完成“全链条、全谱系”保障。

4 发展我国海洋环境安全保障能力的思考

近年来，虽然我国海洋环境安全保障技术有了快

速的发展，但过程中不免存在一系列问题。这使得我们更应深层次思考问题所在，以及如何应对。

（1）大力发展国产海洋传感器。目前，我国在载体平台技术方面（深潜器、Glider、Argo、Smart-Buoy、漂流浮标、定点浮标、潜标平台等），接近甚至在某些方面已超越国际先进水平（如下潜深度、续航时间等）；但在底层核心传感器方面，我国 90% 以上的业务化观测传感器均是进口设备，关键时期极易被“卡脖子”。目前，在海洋传感器领域存在着比较严重的“重购置、轻自主研发、轻应用迭代”问题，应强化“产学研”体系，给予国产海洋传感器犯错、改进、迭代优化的过程和机会，树立科研、业务应用、管理部门对自主海洋设备的信心。

（2）优化数据资源共享与挖掘。在航次设计、观测网络建设、设备使用、数据获取、研究区域等方面，国内多家海洋单位之间存在大量的重复性、冗余性人力、物力、财力投入。各家单位均收集了大量的多元化海洋数据，而对于数据的质量、可靠性、规范性、挖掘应用、模型开发等方面则鲜有出色成果，导致花费巨额财政资金收集的数据常年“尘封”在各单位的档案馆中，而科研人员仍习惯性地下载国外标准化的再分析数据。本文呼吁国家层面加强观测数据高效、可靠转化到可应用、可保障产品的整体布局和相关措施制定。

（3）加强工程技术人员队伍建设。一支结构合理、人员稳定、技术过硬的工程技术人员队伍，是海洋环境安全保障得以开展的坚实基础。目前，国内海洋单位普遍重视科研人员队伍建设，而忽视了工程技术人员的发展。表现在人员占比少、晋升空间狭窄、被认可度低和薪酬待遇差等，使得很多技术能力强的人员都流出海洋单位。因此，建议加大工程技术人员高级职称的配额，使其能有更好的晋升空间；让技术人员与同级别的科研人员和管理人员有同等的薪酬，使其安心工作。此外，还应当配置充足的工程技术人员，并确保队伍稳定、年龄结构合理，防止技术断层。

5 结语

我国的海洋环境安全保障技术经过几十年的发展，无论是在理论研究，还是保障应用方面都有了显著的进步，但与美国等西方发达国家相比，还存在着一定的差距。海洋环境安全保障技术在“一带一路”倡议中有着不可或缺的作用，这就迫切需要我们加快海洋环境技术与安全保障之间无缝衔接。推动海洋环境安全保障技术的发展，不仅对“建设海洋强国”目标的实现，国家海洋安全的维护有着极为关键的作用，还将对推动构建“海洋命运共同体”，推动我国全面参与联合国框架内海洋治理机制和相关规则制定与实施，以及在落实海洋可持续发展目标中发挥积极的作用。

参考文献

1 吴立新, 陈朝晖, 林霄沛, 等. “透明海洋”立体观测网构建. 科学通报, 2020, 65(25): 2654-2661.
Wu L X, Chen Z H, Lin X P, et al. Building the integrated observational network of “Transparent Ocean”. Science Bulletin, 2020, 65(25): 2654-2661. (in Chinese)

2 解鹏飞, 刘玉安, 赵辉, 等. 基于大数据的海洋环境监测数据集成与应用. 海洋技术学报, 2016, 35(1): 93-101.
Xie P F, Liu Y A, Zhao H, et al. Integration and application of marine environmental monitoring data based on big data technology. Journal of Ocean Technology, 2016, 35(1): 93-101. (in Chinese)

3 聂俊岚, 陈贺敏, 张继凯, 等. 基于数据相似度的多维海洋数据交互式集成可视化. 海洋通报, 2015, 34(5): 586-591.
Nie J L, Chen H M, Zhang J K, et al. Interactive integrated visualization of multidimensional marine data based on the data similarity degree. Marine Science Bulletin, 2015, 34(5): 586-591. (in Chinese)

4 单继城, 刘蔚柯. 战场自然环境对军事行动影响. 国防科技, 2017, 38(1): 108-112.

Shan J C, Liu W K. Research on battlefield natural environment impacts on military operation efficiency. National Defense Science & Technology, 2017, 38(1): 108-112. (in Chinese)

5 于宇, 黄孝鹏, 崔威威, 等. 国外海洋环境观测系统和技术发展趋势. 舰船科学技术, 2017, 39(12): 179-183.
Yu Y, Huang X P, Cui W W, et al. Development trends of foreign marine environment observing systems and technologies. Ship Science and Technology, 2017, 39(12): 179-183. (in Chinese)

6 樊旭艳, 何锡玉, 杨亮, 等. 海洋遥感在军事海洋环境保障中的应用研究. 海军工程大学学报, 2020, 17(3): 39-42.
Fan X Y, He X Y, Yang L, et al. Research on application of ocean remote sensing in military marine environment guarantee. Journal of Naval University of Engineering, 2020, 17(3): 39-42. (in Chinese)

7 Johnson G C, Hosoda S, Jayne S R, et al. Argo-two decades: Global oceanography, revolutionized. Annual Review of Marine Science, 2022, 14: 379-403.

8 俞建成, 刘世杰, 金文明, 等. 深海滑翔机技术与应用现状. 工程研究, 2016, 8(2): 208-216.
Yu J C, Liu S J, Jin W M, et al. The present state of deep-sea underwater glider technologies and applications. Journal of Engineering Studies, 2016, 8(2): 208-216. (in Chinese)

9 汪品先. 从海底观测地球—地球系统的第三个观测平台. 自然杂志, 2007, 29(3): 125-131.
Wang P X. Seafloor observatories: The third platform for earth system observation. Chinese Journal of Nature, 2007, 29(3): 125-131. (in Chinese)

10 陈建冬, 张达, 王潇, 等. 海底观测网发展现状及趋势研究. 海洋技术学报, 2019, 38(6): 95-103.
Chen J D, Zhang D, Wang X, et al. Research on the state-of-the-art and trends of seafloor observatory. Journal of Ocean Technology, 2019, 38(8): 95-103. (in Chinese)

11 丁晓进, 洪涛, 刘锐, 等. 低轨卫星物联网体系架构及关键技术研究. 天地一体化信息网络, 2021, 2(4): 10-18.
Ding X J, Hong T, Liu R, et al. Research on architecture of LEO satellite internet of things and key technologies. Space-Integrated-Ground Information Networks, 2021, 2(4): 10-18. (in Chinese)

12 李风华, 路艳国, 王海斌, 等. 海底观测网的研究进展与发展趋势. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 321-330.
Li F H, Lu Y G, Wang H B, et al. Research progress and development trend of seafloor observation network. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(3): 321-330. (in Chinese)

13 余旋. 基于数据驱动关系依赖的海洋环境大数据预报方法研究. 上海: 上海大学, 2021.
Yu X. Research on marine environment big data forecasting method based on data-driven relationship dependence. Shanghai: Shanghai University, 2021. (in Chinese)

14 Song T, Jiang J, Li W, et al. A deep learning method with merged LSTM neural networks for SSHA prediction. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 2020, doi: 10.1109/JSTARS.2020.2998461.

15 Ham Y G, Kim J H, Luo J J. Deep learning for multi-year ENSO forecasts. Nature, 2019, 573(7775): 568-572.

16 Zhang X, Li X. Combination of satellite observations and machine learning method for internal wave forecast in the Sulu and Celebes Seas. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2020, 99: 1-11.

17 Gao S, Zhao P, Pan B, et al. A nowcasting model for the prediction of typhoon tracks based on a long short term memory neural network. Acta Oceanologica Sinica, 2018, 37(5): 8-12.

18 石绥祥, 王蕾, 余璇, 等. 长短期记忆神经网络在叶绿素a浓度预测中的应用. 海洋学报, 2020, 42(2): 134-142.
Shi S X, Wang L, Yu X, et al. Application of long term and short term memory neural network in prediction of chlorophyll a concentration. Haiyang Xuebao, 2020, 42(2): 134-142. (in Chinese)

19 李茂林, 余向军, 李庆红. 美国海军业务化海洋预报系统发展历程及启示. 舰船科学技术, 2021, 43(10): 181-185.
Li M L, Yu X J, Li Q H. Current status of US Navy operational ocean prediction system. Ship Science and Technology, 2021, 43(10): 181-185. (in Chinese)

20 黄海宁, 李宇. 水声目标探测技术研究现状与展望. 中国科学院院刊, 2019, 34(3): 264-271.

Huang H N, Li Y. Underwater acoustic detection: Current status and future trends. Bulletin of Chinese Academic of Sciences, 2019, 34(3): 264-271. (in Chinese)

21 Wallcraft A J, Kara A B, Hurlburt H E, et al. The NRL layered global ocean model (NLOM) with an embedded mixed layer submodel: Formulation and tuning. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, 2003, 20(11): 1601-1615.

Development Status and Prospect of Marine Environmental Security Technology

MAO Huabin[1,2] WU Yuantao[3] YIN Jianping[1,2] LIAN Shumin[1,2*]

(1 South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences , Guangzhou 510301, China;
2 Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510301, China;
3 Bureau of Major R&D Programs, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China)

Abstract With the continuous progress of ocean observation technology, more and more technical means have been provided for marine environmental safety technology. The marine environmental security technology plays an indispensable role in the national Belt and Road Initiatives. Meanwhile, it not only plays a crucial role in the achievement of building a maritime power and the maintenance of national maritime security, but also plays a positive role in promoting the construction of a “community with a shared future for the oceans” and implementing the goal of marine sustainable development. Based on the practical problems, this study introduces the system composition of marine environmental security technology, namely marine environment parameter perception technology, data integrated and analysis technology and application security technology. This paper expounds the current situation of the marine environmental security technology as well as its developmental trends in the future from four perspectives: (1) full-time, global and multidimensional monitoring and detection capability; (2) efficient, safe, stable and reliable information transmission capability; (3) real-time, accurate, objective and quantitative prediction capability; and (4) the capability of accurate tactic selection, efficient and convenient auxiliary decision-making and precise technical support.

Keywords marine environment, information perception, application support



毛华斌 中国科学院南海海洋研究所研究员。主要从事海洋观测技术、海洋中小尺度动力过程、应用海洋学等方向的研究。主持国家重点研发计划等国家级项目（课题）6项，发表SCI论文30余篇。中国科学院关键技术人才。E-mail: maohuabin@scsio.ac.cn

MAO Huabin Researcher of Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (CAS). He mainly engages in the research of ocean observation technology, ocean small and mesoscale dynamic processes, applied oceanography and other directions. Presided over 6 national projects sponsored by the National Key Research and Development Program of China, he has published more than 30 SCI indexed papers. Key technical talents of the CAS.
E-mail: maohuabin@scsio.ac.cn

*Corresponding author



练树民　中国科学院南海海洋研究所研究员，中国科学院应用海洋学重点实验室主任。中国科学院海洋技术领域专家组咨询顾问专家，全球变化与海气相互作用专项专家组成员，中国科学院海洋技术专家委员会成员，享受国务院政府特殊津贴。主要从事海洋科技管理与应用海洋学研究。主持“863”计划、国家重点研发计划、国家科技重大专项等多个项目。E-mail: smlian@scsio.ac.cn

LIAN Shumin　Researcher and Director of Guangdong Provincial Key Laboratory of Applied Marine Biology, South China Sea Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences (CAS). He mainly engages in marine science and technology management and applied oceanography. His main research covers applied oceanology and management of marine science program. He has presided over the projects sponsored by the “863 Plan”, National Key Research and Development Program of China, National Science and Technology Major Program, and so on. He also serves as a consultant expert of the expert group in the field of marine technology, Member of the Special Expert Group on Global Change and Sea Air Interaction, and Member of Marine Technology Expert Committee of the CAS, enjoys the special allowance of State Council. E-mail: smlian@scsio.ac.cn

■责任编辑：文彦杰